



3. OPTYMALIZACJA W ZARZĄDZANIU ŁAŃCUCHEM DOSTAW

W rozdziale przedstawione zostały najważniejsze zagadnienia związane z zarządzaniem zapasami. Szczególny nacisk został położony na analizę danych logistycznych, dla których można wykorzystać arkusz kalkulacyjny. Znajdziesz tutaj:



- pojęcie optymalizacji w logistyce,
- rola magazynu w łańcuchu dostaw,
- wyznaczanie powierzchni magazynowej,
- wybrane metody zarządzania zapasami w łańcuchu dostaw,
- narzędzie Solver.

3.1. Optymalizacja w logistyce

Optymalizacja w logistyce to proces polegający na znalezieniu najbardziej efektywnego sposobu organizacji przepływu towarów, informacji i zasobów w całym łańcuchu dostaw, od punktu początkowego do końcowego, z minimalizacją kosztów operacyjnych, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej jakości i spełnieniu wymagań klienta (Reszka, 2012). Celem optymalizacji w logistyce jest poprawa różnych takich aspektów działalności, jak (Antoniuk i in., 2021; Gupta i in., 2022; Kauf i Tłuczak, 2016; Konarzewska i in., 2020):

- zmniejszenie czasu przepływu towarów,
- optymalizacja kosztów transportu, magazynowania i obsługi,
- poprawa jakości usług logistycznych,
- zwiększenie elastyczności i zdolności reagowania na zmiany w popycie,
- zmniejszenie ilości zapasów przy jednoczesnym zapewnieniu ciągłości dostaw,
- poprawa zarządzania przestrzenią magazynową i zasobami transportowymi,
- zintegrowanie i automatyzacja procesów logistycznych.



Logistyczne modele optymalizacyjne są stosowane w odniesieniu do (Tylicki i Bartol, 2017; Smyk, 2023):

- projektowania sieci dystrybucji (wyznaczanie lokalizacji centrów dystrybucji) – opisane w rozdziale Optymalizacja sieci logistycznej,
- projektowania systemów transportowych (optymalizacja zadań transportowych, minimalizacja pustych przebiegów, wyznaczanie tras dostaw) – opisane w rozdziale Optymalizacja transportu,
- zarządzania zapasami (rozmieszczenie zapasów, szacowanie ich wielkości, wyznaczanie terminów składania zamówień) – opisane w rozdziale Analityka w obszarze zaopatrzenia i zakupów oraz poniżej w podrozdziale Wybrane metody zarządzania zapasami w łańcuchu dostaw,
- projektowania i zarządzania działaniami w magazynach (maksymalizacja efektywności przestrzeni magazynowej) – opisane w podrozdziale Wyznaczanie powierzchni magazynowej.

W kontekście modeli optymalizacyjnych istnieje wiele metod optymalizacyjnych, gdzie główna klasyfikacja tych metod bazuje na typie zadania optymalizacyjnego, które ma być rozwiązane. Można wyróżnić następujące **metody optymalizacyjne** ze względu na (Jayarathna i in., 2021; Kusiak i in., 2021):

- rodzaj rozwiązywanego zadania: metody programowania liniowego, metody optymalizacji nieliniowej,
- ograniczenia: metody optymalizacji bez ograniczeń, metody optymalizacji z ograniczeniami,
- wymiar problemu (liczba zmiennych optymalizacji): metody jednowymiarowe, metody wielowymiarowe (wiele zmiennych optymalizacji),
- kryteria optymalizacji: metody dla pojedynczego kryterium; metody wielokryterialne (wiele kryteriów optymalizacji).

W logistyce najczęściej uwzględnia się liczbę kryteriów i formułuje zadania optymalizacyjne jedno- i wielokryterialne. W praktyce zazwyczaj rozwiązuje się jednokryterialne zadania optymalizacyjne, głównie z powodu prostoty modeli i ich łatwego zastosowania. Zadania optymalizacyjne wielokryterialne wymagają skomplikowanych modeli,



co często prowadzi do sytuacji, w której rozwiązanie optymalne według jednego kryterium może negatywnie wpływać na wynik zgodny z celem innego kryterium. W rezultacie, rozwiązania wielokryterialne wymagają wypracowania kompromisu pomiędzy różnymi funkcjami celu, co utrudnia określenie jednoznacznie najlepszego, optymalnego rozwiązania (Smyk, 2023). W związku z tym poszukując kryteriów i celów cząstkowych dla optymalizacji zadań logistycznych należy zadbać o to, aby były one (Kauf i Tłuczak, 2016; Silva i in., 2005):

- kompletne (mające wpływ na określony problem decyzyjny),
- niepowtarzające się,
- ograniczone do minimum (dążenie do jak najmniejszego rozmiaru problemu decyzyjnego),
- operacyjne (mieralne),
- różnicujące rozwiązania (możliwość wskazania rozwiązania najlepszego – optymalnego).

W działalności gospodarczej ważne jest, aby kryterium optymalizacyjne było wyraźnie zdefiniowane, a model optymalizacyjny powinien odpowiadać zasadniczej naturze analizowanego problemu (Smyk, 2023). Kryterium to jest nazywane funkcją celu i jest wybierane w kontekście podejmowanej decyzji lub na wstępnym etapie planowania logistycznego. Ta funkcja służy jako miernik do oceny jakości rozwiązania, gdzie rozwiązanie optymalne jest osiągnięte, gdy funkcja przyjmuje ekstremum (minimum lub maksimum) (Gupta i in., 2022).

3.2. Rola magazynu w łańcuchu dostaw

W nowoczesnym systemie logistycznym każda manipulacja materiałami podlega dokładnej weryfikacji już na etapie projektowania. Bardzo ważną rolę zaczynają odgrywać nawet drobne przesunięcia dóbr na krótkie odległości, które zazwyczaj odbywają się w obrębie budynku oraz między obiektem i pośrednikiem transportowym. **Magazyn** przeznaczony jest do magazynowania dóbr materialnych w wyodrębnionej przestrzeni budowli magazynowej, według ustalonej technologii, wyposażonej w odpowiednie urządzenia i środki techniczne, zarządzanej i obsługiwanej przez zespół ludzi wyposażonych w odpowiednie umiejętności (Miszewski, 2019). Możliwie najlepsze ułożenie towaru na danej przestrzeni pozwala



na pełniejsze wykorzystanie ograniczonej pojemności obiektu oraz zmniejszenie liczby manipulacji danym zapasem (Ghiani, 2004; Muller, 2002).

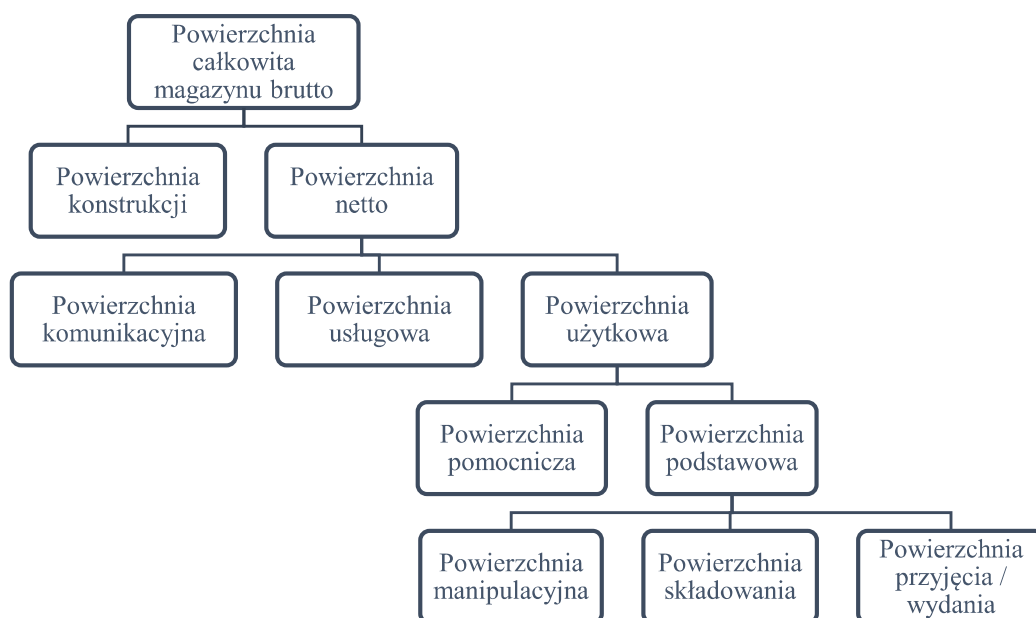
W kontekście łańcucha dostaw, magazyn odgrywa niezwykle istotną rolę, stanowiąc kluczowe centrum koordynacji i przechowywania towarów, co jest niezbędne do zapewnienia płynności przepływu produktów od producentów do konsumentów. Jego funkcjonowanie ma zasadnicze znaczenie dla efektywnego zarządzania zapasami, co pozwala na minimalizację ryzyka wystąpienia braków i nadmiarów, utrzymując tym samym równowagę między popytem a podażą. Ponadto, magazyn pełni ważną rolę w procesie kontroli jakości, oferując możliwość sprawdzenia i przygotowania produktów do dalszej dystrybucji, co gwarantuje ich zgodność ze standardami i oczekiwaniami klientów. Wprowadzenie nowoczesnych systemów zarządzania magazynem (WMS) przyczynia się do znaczącej optymalizacji procesów logistycznych, co z kolei zwiększa efektywność operacyjną i pozwala na redukcję kosztów operacyjnych. Wreszcie, magazyny są niezwykle ważne w adaptacji łańcucha dostaw do dynamicznie zmieniających się warunków rynkowych, umożliwiając organizacjom szybką reakcję na ewolucję popytu i zmieniające się preferencje konsumentów, co jest kluczowe w utrzymaniu konkurencyjności na rynku (Gu i in., 2007; Ramaa i in., 2012).

3.3. Wyznaczanie powierzchni magazynowej

Podstawowe wymagania w operacjach magazynowych obejmują przyjmowanie **jednostek magazynowych** (Stock Keeping Unit, SKU) od dostawców, przechowywanie jednostek SKU, przyjmowanie zamówień od klientów, pobieranie jednostek SKU i składanie ich do wysyłki oraz wysyłanie skompletowanych zamówień do klientów. Projektowanie i obsługa magazynu spełniającego te wymagania wiąże się z wieloma kwestiami. Zasoby, takie jak przestrzeń, siła robocza i sprzęt, należy rozdzielić pomiędzy różne funkcje magazynu, a każdą funkcję należy starannie wdrożyć, obsługiwać i koordynować, aby spełnić wymagania systemowe pod względem pojemności, przepustowości i usług na poziomie minimalny koszt zasobów. Magazynowanie zajmuje się organizacją towarów znajdujących się w magazynie w celu uzyskania wysokiego wykorzystania przestrzeni i umożliwienia sprawnego transportu materiałów (Gu i in., 2007).



Funkcję przechowywania kształtują trzy podstawowe decyzje, tj. ile zapasów należy przechowywać w magazynie dla danego SKU; jak często i o której godzinie należy uzupełniać zapasy dla jednostki SKU; oraz gdzie należy przechowywać SKU w magazynie oraz rozprowadzać je i przenosić pomiędzy różnymi obszarami magazynowania. Pierwsze dwa pytania prowadzą odpowiednio do problemów związanych z wielkością partii i problemami, które należą do tradycyjnego obszaru kontroli zapasów (Hariga i Jackson, 1996). Dwa główne kryteria przy podejmowaniu decyzji dotyczących przydziału do stref magazynowania to efektywność przechowywania, która odpowiada pojemności przechowywania oraz efektywność dostępu, która odpowiada zasobom zużywanym przez sprzedaż i kompletację zamówień (Gu i in., 2007).



Rysunek 3.1. Podział powierzchni magazynowej

Źródło: (Dudziński i Kizyn, 2002)

Obliczenie powierzchni magazynowej wymaga uwzględniania jej różnych rodzajów (rys. 3.1). W przedsiębiorstwie na powierzchni użytkowej wydziela się strefy odpowiadające fazom procesu magazynowania: przyjęcie, składowanie (krótko i długoterminowe), kompletacja, wydanie oraz powierzchnię manipulacyjną i pomocniczą. Wielkość i kształt magazynu zależy od następujących zmiennych:

- rodzaje, liczba i wymiary stanowisk na których wykonywane są czynności magazynowe w strefie przyjęć i wydań,



- wymiary i ilości pól składowych w sferze składowania,
- wymiary i ilości pól odkładczych,
- parametry rzędów regałów oraz ilości kolumn w rzędach,
- szerokość korytarza roboczego dla przyjętego wózka widłowego,
- szerokość dróg komunikacyjnych dla sprzętu i ludzi.

Całkowitą powierzchnię magazynową S można wyrazić wzorem:

$$S = f_s + f_p = f_s + f_w + f_d + f_a$$

gdzie:

f_s – powierzchnia składowania,

f_p – powierzchnia pomocnicza,

f_w – powierzchnia przeznaczona na przyjęcie, sortowanie i wydawanie materiałów,

f_d – powierzchnia zajęta na przejścia i przejazdy,

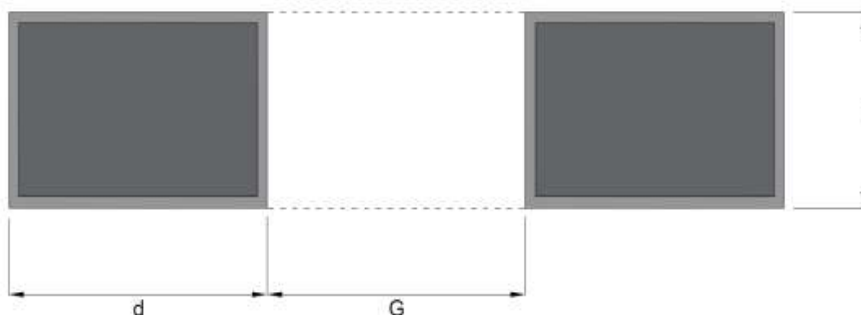
f_a – powierzchnia administracyjno-socjalna.



Formuła stosowana w Excelu:

$$S = [\text{powierzchnia składowania}] + [\text{powierzchnia pomocnicza}] = \\ [\text{powierzchnia składowania}] + [\text{powierzchnia przeznaczona} \\ \text{na przyjęcie, sortowanie i wydawanie materiałów}] + \\ [\text{powierzchnia zajęta na przejścia i przejazdy}] + [\text{powierzchnia} \\ \text{administracyjno-socjalna}]$$

Część powierzchni magazynu, obejmująca rzut poziomy najmniejszej powtarzalnej części dwóch rzędów lub bloków jednostek ładunkowych (pjł) wraz z luzami manipulacyjnymi przy składowaniu oraz drogą manipulacyjną między nim to moduł magazynowy. Przyjęcie tej wielkości pozwala na szacowanie wielkości powierzchni magazynowej. Moduły magazynowe dla składowania rzędowego bez urządzeń mogą być ułożone na dwa sposoby (rys. 3.2 i 3.3).



Rysunek 3.2. Moduł magazynowy dla składowania rzędowego bez urządzeń z prostokątnym ułożeniem paletowych jednostek ładunkowych

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 3.3. Moduł magazynowy dla składowania rzędowego bez urządzeń z równoległym ułożeniem paletowych jednostek ładunkowych

Źródło: opracowanie własne

Pole powierzchni modułu magazynowego dla składowania rzędowego bez urządzeń oblicza się ze wzoru:

$$M = (2 \times d + G) \times l [m^2]$$

gdzie:

d – szerokość pola odkładczego [m],

G – szerokość drogi manipulacyjnej [m],

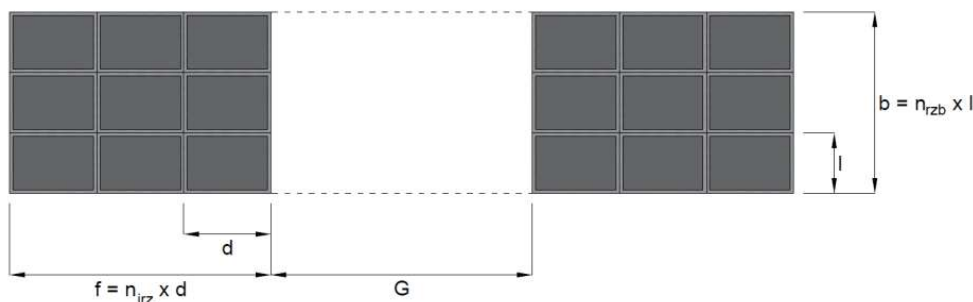
l – długość pola odkładczego [m].



Formuła stosowana w Excelu:

$$M = (2 * [\text{szerokość pola odkładczego}] + [\text{szerokość drogi manipulacyjnej}]) * [\text{długość pola odkładczego}]$$

Moduły magazynowe dla składowania blokowego bez urządzeń mogą być ułożone jak pokazano na rys. 3.4.



Rysunek 3.4. Moduł magazynowy dla składowania blokowego bez urządzeń

Źródło: opracowanie własne

Pole powierzchni modułu magazynowego dla składowania blokowego bez urządzeń oblicza się ze wzoru:

$$Mb = (2 \times f + G) \times b = (2 \times n_{LUz} \times d + G) \times n_{LUb} \times l [m^2]$$

gdzie:

f – szerokość bloku [m],

G – szerokość drogi manipulacyjnej [m],

b – długość bloku [m],

n_{LUz} – liczba jednostek ładunkowych w rzędzie bloku,

d – szerokość pola odkładczego [m],

n_{LUb} – liczba rzędów w bloku,

l – długość pola odkładczego [m].

Pojemność modułu jest równa $2 \times n_{jrz} \times n_{rzb}$ pjęt dla składowania w jednym poziomie oraz $2 \times n_{jrz} \times n_{rzb} \times n$ pjęt dla składowania w stosach przy piętrzeniu w n poziomach.



Formuła stosowana w Excelu:

$$M_b = (2 * [\text{szerokość bloku}] + [\text{szerokość drogi manipulacyjnej}]) * [\text{długość bloku}]$$

Ponadto dla modułów magazynowych można policzyć objętość – uwzględniając wysokość jednostki ładunkowej albo gdy zachodzi piętrzenie jednostek ładunkowych. **Objętość modułu magazynowego** (pojemność modułu) zależy od jego pola powierzchni (M_b) oraz wysokości, na jaką została sformowana jednostka ładunkowa (h). Objętość modułu jest obliczana ze wzoru:

$$V_M = [(2 \times f + G) \times b] \times h [m^3]$$

$$h = n_{rh} \times h_o + h_p [m]$$

gdzie:

f – szerokość bloku [m],

G – szerokość drogi manipulacyjnej [m],

b – długość bloku [m],

h – wysokość pjl [m],

n_{rh} – liczba warstw na pjl,

h_o – wysokość opakowania zbiorczego [m],

h_p – wysokość nośnika [m].



Formuła stosowana w Excelu:

$$V_M = \{(2 * [\text{szerokość bloku}] + [\text{szerokość drogi manipulacyjnej}]) * [\text{długość bloku}]\} * [\text{wysokość pjl}]$$



Objętość modułu magazynowego w przypadku, gdy zachodzi **piętrzenie jednostek ładunkowych**, zależy od jego pola powierzchni (M_b) oraz wysokości, na jaką zostały sformowane jł (H). Objętość modułu jest obliczana ze wzoru:

$$V_M = [(2 \times f + G) \times b] \times H [m^3]$$

$$H = n \times h = n \times (n_{th} \times h_o + h_p) [m]$$

gdzie:

f – szerokość bloku [m],

G – szerokość drogi manipulacyjnej [m],

b – długość bloku [m],

H – wysokość bloku [m],

n – liczba spiętrzonych pjł,

h – wysokość pjł [m],

n_{th} – liczba warstw na pjł,

h_o – wysokość opakowania zbiorczego [m],

h_p – wysokość nośnika [m].



Formuła stosowana w Excelu:

$$V_M = \{(2 * [\text{szerokość bloku}] + [\text{szerokość drogi manipulacyjnej}]) * [\text{długość bloku}]\} * [\text{wysokość bloku}]$$

Wykorzystanie powierzchni magazynowej ocenia się przez stosunek powierzchni wykorzystanej do całkowitej dostępnej powierzchni. W magazynach, gdzie nie są wykorzystywane regały paletowe, uzyskanie najwyższej wartości tego wskaźnika zapewnia składowanie materiałów w układzie blokowym, a wartości wskaźnika wykorzystania powierzchni wynoszą tutaj od 0,6 do 0,8. Dla porównania, wskaźnik ten dla rzędowego układu składowania wynosi od 0,25 do 0,6. Dążenie do optymalizacji wykorzystania powierzchni



z zastosowaniem tego typu składowania powoduje ograniczenie warunków piętrzenia materiałów oraz brak dostępu do asortymentu znajdującego się w środku bloków i możliwe jest do zastosowania jedynie dla asortymentu jednorodnego, przy czym nie wymaga dodatkowych nakładów finansowych na wyposażenie magazynu. W przypadku, kiedy jedynym kryterium oceny jest zwiększenie ilości składowanego asortymentu, dobrym rozwiązaniem okazuje się wykorzystanie przepływowych regałów paletowych. Zapewniają one wysoki wskaźnik wykorzystanej powierzchni z powodu ograniczenia ilości dróg transportowych, ale jednocześnie zmuszają do wykorzystania zasady **FIFO** (First In First Out – pierwsze weszło, pierwsze wyszło). Maksymalne wykorzystanie dostępnej powierzchni magazynowej możliwe jest dzięki zastosowaniu metody wolnych miejsc składowania, która zakłada, że asortyment może być umieszczony w każdym wolnym gnieździe regałowym (Kisielewski i Talarek, 2020).

3.4. Wybrane metody zarządzania zapasami w łańcuchu dostaw

Zarządzanie zapasami w łańcuchu dostaw jest kluczowym elementem zapewniającym płynność operacji, minimalizację kosztów i zadowolenie klientów. Istnieje wiele metod zarządzania zapasami, z których każda może być odpowiednia w zależności od specyfiki branży, charakterystyki produktów, dynamiki popytu i innych czynników operacyjnych (Cyplik i Hadaś, 2012).

Klasyczna koncepcja zarządzania zapasami pozwala na zarządzanie zapasami w sieci dystrybucji, gdzie są one zazwyczaj rozmieszczone w różnych miejscach. Rozwiązanie problemów zapasów znajdujących się w wielu lokalizacjach skupia się przede wszystkim na analizie wielkości zapasów bezpieczeństwa (Babai i Dallery, 2005; Mascle i Gosse, 2014). Zapas bezpieczeństwa zależy od zmienności popytu w cyklu uzupełnienia zapasu, wyrażonego odchyleniem standardowym popytu w tym okresie oraz współczynnika bezpieczeństwa zależnego od przyjętego poziomu obsługi. Jeśli dla różnych miejsc składowania zapasu przyjmuje się ten sam poziom obsługi to poziom zapasu bezpieczeństwa zależy od zmienności popytu obsługiwanego z danej lokalizacji. We wzorach przyjęto założenie, że we wszystkich punktach obsługi rynku przyjęto ten sam poziom obsługi ($\omega_{MR1} = \omega_{MR2} = \omega_{MR3} = \dots = \omega$) oraz ten sam system uzupełniania zapasów (Cyplik i Hadaś, 2012).



Formuła do obliczenia zapasu bezpieczeństwa:

$$Z_B = \omega \times \sigma_{PT}$$

Formuła do obliczenia odchylenia standardowego sumy popytów:

$$\sigma_{(P_1+P_2+P_3+\dots+P_n)} = \sqrt{\sigma_{P_1}^2 + \sigma_{P_2}^2 + \sigma_{P_3}^2 + \dots + \sigma_{P_n}^2}$$

gdzie:

n – liczba punktów lokalizacji zapasu,

P_n – indywidualna wartość popytu w n -tej lokalizacji zapasu.

Zapas bezpieczeństwa dla całkowitego popytu obsługiwanego np. z magazynu centralnego można obliczyć jako:

$$\begin{aligned} Z_{BC} &= Z_{B(P_1+P_2+P_3+\dots+P_n)} = \omega \times \sigma_{(P_1+P_2+P_3+\dots+P_n)} = \\ &= \omega \times \sqrt{\sigma_{P_1}^2 + \sigma_{P_2}^2 + \sigma_{P_3}^2 + \dots + \sigma_{P_n}^2} = \\ &= \sqrt{\omega^2 \times \sigma_{P_1}^2 + \omega^2 \times \sigma_{P_2}^2 + \omega^2 \times \sigma_{P_3}^2 + \dots + \omega^2 \times \sigma_{P_n}^2} = \\ &= \sqrt{Z_{BM1}^2 + Z_{BM2}^2 + Z_{BM3}^2 + \dots + Z_{BMn}^2} \end{aligned}$$

gdzie:

Z_{BMC} – całkowity zapas bezpieczeństwa we wszystkich magazynach,

Z_{BMn} – zapas bezpieczeństwa n -tej lokalizacji.

W szczególnym przypadku, jeśli zapas bezpieczeństwa we wszystkich punktach lokalizacji jest taki sam (na ogół jako skutek takiego samego popytu obsługiwanego przez każdy z tych punktów) i jest równy Z_{BMi} , to zapas scentralizowany Z_{BC} jest równy:

$$Z_{BC} = Z_{BMn} \times \sqrt{n}$$

gdzie n jest liczbą punktów lokalizacji zapasu.



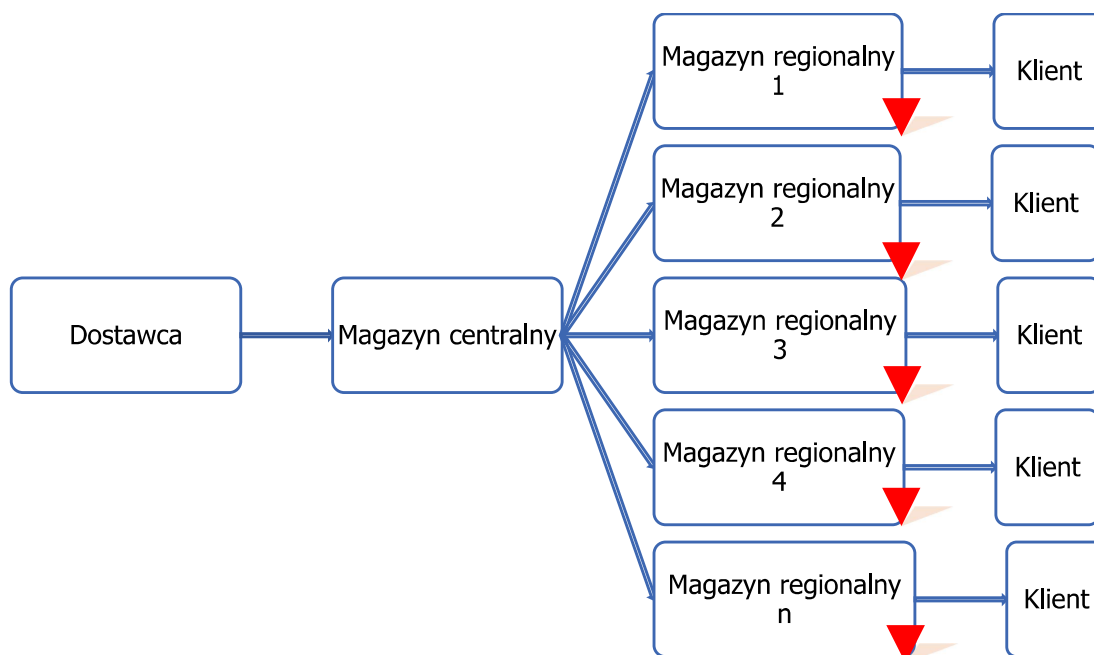
Formuła stosowana w Excelu:

$$\begin{aligned} Z_{BMC} &= [\text{współczynnik bezpieczeństwa}] * [\text{odchylenie standardowe} \\ &\text{sumy popytów w punktach P1-Pn w cyklu uzupełnienia zapasu}] = \\ &= [\text{współczynnik bezpieczeństwa}] * \text{PIERWIASTEK}[\\ &\quad [(\text{ODCH.STAND.POPUL}([\text{zakres komórek dla P1}])^2) + \\ &\quad + [(\text{ODCH.STAND.POPUL}([\text{zakres komórek dla P2}])^2) + \dots + \\ &\quad + [(\text{ODCH.STAND.POPUL}([\text{zakres komórek dla Pn}])^2)] \end{aligned}$$

Jednym z zagadnień wymagającym analiz w kontekście optymalizacji łańcucha dostaw jest lokalizacja magazynów z uwzględnieniem relacji pomiędzy istotnymi parametrami. Sposób lokalizacji zapasu może być rozpatrywany na dwa sposoby – jako zapas rozproszony lub zapas scentralizowany.

W przypadku zapasu rozproszonego (rys. 3.5) klienci są obsługiwani bezpośrednio z zapasu zlokalizowanego a magazynach regionalnych (MR) i tam jest utrzymywany zapas bezpieczeństwa. Na potrzeby obliczeń przyjmuje się następujące założenia (Krzyżaniak, 2006):

- popyt rozkłada się równomiernie na n magazynów regionalnych,
- tygodniowy popyt w każdym z tych magazynów daje się opisać rozkładem o średniej popytu P_{MR} i odchyleniu standardowym σ_{PMR} ,
- cena zakupu u dostawcy jest równa C,
- współczynnik tygodniowego kosztu utrzymania zapasu wynosi u_t i jest taki sam we wszystkich magazynach,
- czas cyklu uzupełnienia zapasu w magazynach regionalnych jest dla każdego magazynu równy i wynosi T_1 (bez istotnych odchyień).



Rysunek 3.5. Ilustracja przypadku zapasu rozproszonego

Źródło: (Krzyżaniak, 2006)

Przy przyjętych założeniach łączny tygodniowy koszt utrzymania zapasu zabezpieczającego w sieci jest równy:

$$K_1 = \sum_{i=1}^n K U t Z B_{MR}$$

Dla równomiernego rozłożenia popytu pomiędzy wszystkie magazyny otrzymujemy:

$$K_1 = n \times Z B_{MR} \times C \times u_t = n \times \omega \times \sigma_{PMR} \times \sqrt{T_1} \times C \times u_t$$

gdzie:

ω – współczynnik bezpieczeństwa, zależny od przyjętego poziomu obsługi i typu rozkładu opisującego dany rozkład częstości występowania popytu,

$Z B_{MR}$ – zapas zabezpieczający w każdym z magazynów regionalnych.

Ponieważ zachodzi $\sigma_{PMR} = V \times P_{MR}$, gdzie V jest tzw. współczynnikiem zmienności $V = \frac{\sigma_P}{P}$, to wzór przyjmuje postać:

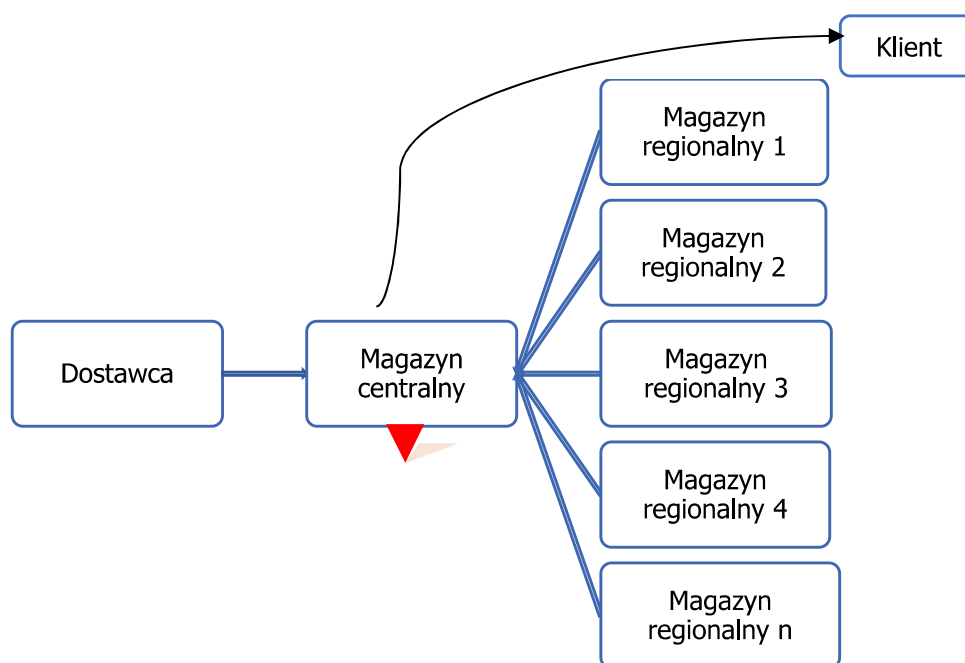
$$K_1 = n \times \omega \times V \times P_{MR} \times \sqrt{T_1} \times C \times u_t$$



W modelu ogólnym dla zapasu scentralizowanego (rys. 3.6) klienci obsługiwani są z magazynu centralnego (MC) bezpośrednimi dostawami w postaci np. przesyłek kurierskich.

Na potrzeby obliczeń przyjmuje się następujące założenia (Krzyżaniak, 2006):

- tygodniowy popyt w magazynie centralnym jest sumą popytów obserwowanych na rynkach związanych z poszczególnymi magazynami regionalnymi i można go opisać rozkładem o średniej $P_{MC}=n \cdot P_{MR}$ i odchyleniu standardowym $\sigma_{PMC} = \sigma_{PMR} \times \sqrt{n}$ (zgodnie z prawem pierwiastka kwadratowego),
- współczynnik tygodniowego kosztu utrzymania zapasu wynosi u_t i jest taki sam jak w przypadku magazynów regionalnych,
- czas cyklu uzupełnienia zapasu w magazynie centralnym wynosi T_2 ,
- w przypadku wystąpienia zapotrzebowania ze strony odbiorców produkt jest przesyłany bezpośrednio do klienta w formie przesyłki kurierskiej o jednostkowym koszcie k_{pk} , co pozwala zachować zbliżony czas realizacji zamówienia klienta jak w przypadku obsługi z magazynów regionalnych.



Rysunek 3.6. Ilustracja przypadku zapasu scentralizowanego

Źródło: (Krzyżaniak, 2006)



Tygodniowy koszt utrzymania zapasu zabezpieczającego w magazynie centralnym jest równy:

$$K_{2(ZB)} = ZB_{MC} \times C \times u_t = \omega \times \sigma_{PMC} \times \sqrt{T_2} \times C \times u_t.$$

Ponieważ, zgodnie z założeniami $T_2 = \alpha \times T_1$:

$$K_{2(ZB)} = \omega \times \sigma_{PMC} \times \sqrt{\alpha \times T_1} \times C \times u_t = \omega \times \sigma_{PMR} \times \sqrt{n \times \alpha \times T_1} \times C \times u_t.$$

Ponieważ zachodzi $\sigma_{PMR} = V \times P_{MR}$, gdzie V jest tzw. współczynnikiem zmienności $V = \frac{\sigma_P}{P}$, to wzór przyjmuje postać:

$$K_{2(ZB)} = \omega \times V \times P_{MR} \times \sqrt{n \times \alpha \times T_1} \times C \times u_t.$$

Warto zauważyć, że założenie $T_2 = \alpha \times T_1$ uwzględnia różne rozwiązania organizacji dostaw dla obu przypadków. Na przykład w przypadku zapasów rozproszonych dostawy do magazynów regionalnych mogą być prowadzone według systemu przeglądu okresowego, a w systemie scentralizowanym w oparciu o tzw. punkt ponownego zamówienia (poziom informacyjny). Można przyjąć, że zazwyczaj będzie zachodziło $T_2 < T_1$.

Łączne tygodniowe koszty bezpośrednich kurierskich do klienta są równe:

$$K_{2(dostaw)} = n \times P_{MR} \times k_{pk}$$

Stawiając pytanie: kiedy opłaca się rozproszyć zapas, to znaczy kiedy taniej będzie utrzymywać zapas zabezpieczający w n magazynach regionalnych i z nich obsługiwać lokalnych odbiorców, niż skupić zapas w magazynie centralnym i realizować zamówienia klientów bezpośrednimi dostawami, odpowiedź sprowadza się do rozwiązania nierówności:

$$K_1 < K_{2(ZB)} + K_{2(dostaw)}$$

czyli:

$$n \times \omega \times V \times P_{MR} \times \sqrt{T_1} \times C \times u_t < \omega \times V \times P_{MR} \times \sqrt{n \times \alpha \times T_1} \times C \times u_t + n \times P_{MR} \times k_{pk}$$

Po przekształceniach otrzymujemy:

$$V < \frac{n \times k_{pk}}{\omega \times \sqrt{T_1} \times C \times u_t \times (n - \sqrt{n \times \alpha})}$$



Z tej postaci otrzymujemy zależności, których spełnienie gwarantuje spełnienie nierówności $K_1 < K_{2(ZB)} + K_{2(dostaw)}$ i postawionego warunku:

$$V < \frac{\left[\frac{k_{pk}}{C \times u_t} \right]}{\omega \times \sqrt{T_1} \times \left[1 - \sqrt{\frac{\alpha}{n}} \right]}$$

lub

$$\omega < \frac{\left[\frac{k_{pk}}{C \times u_t} \right]}{V \times \sqrt{T_1} \times \left[1 - \sqrt{\frac{\alpha}{n}} \right]}$$

Jednak druga zależność niesie najwięcej informacji, ponieważ łączy w wyrażeniu po lewej stronie nierówności wszystkie elementy kosztowe, a po prawej parametry związane z realizacją i wymaganym poziomem obsługi:

$$\left[\frac{k_{pk}}{C \times u_t} \right] > V \times \omega \times \sqrt{T_1} \times \left[1 - \sqrt{\frac{\alpha}{n}} \right]$$

Silne strony klasycznej koncepcji zarządzania zapasami są następujące:

- prostota i przejrzystość – są łatwe do zrozumienia i implementacji,
- pomagają w minimalizowaniu całkowitych kosztów zarządzania zapasami poprzez zrównoważenie kosztów zamawiania i kosztów utrzymania zapasów, dążąc do ekonomicznej ilości zamówienia,
- są wyraźne i zdefiniowane procesy decyzyjne, które pomagają zarządzać zamówieniami i zapasami na podstawie obliczeń i z góry ustalonych reguł.

Słabe strony klasycznej koncepcji zarządzania zapasami to:

- potrzeba założenia stałego i przewidywalnego popytu, co nie zawsze odpowiada dynamicznym i zmiennym realiom rynkowym,
- nie uwzględnienie zmienności popytu i ryzyka w łańcuchu dostaw (np. opóźnienia w dostawach, zmiany na rynku),



- brak elastyczności w reagowaniu na szybkie zmiany na rynku lub w łańcuchu dostaw, ponieważ są oparte na stałych parametrach i nie przewidują dynamicznego dostosowywania się do nowych warunków.

Klasyczna koncepcja zarządzania zapasami ma swoje miejsce w teorii i praktyce zarządzania operacyjnego, ale w nowoczesnym, szybko zmieniającym się świecie biznesu często jest uzupełniana o bardziej zaawansowane i elastyczne metody i narzędzia analizy.

DRP (Distribution Requirements Planning) – planowanie potrzeb dystrybucyjnych, koordynuje zapotrzebowanie z poziomem zapasów w różnych lokalizacjach. Jest jedną z metod optymalizujących zarządzanie dostawami wyrobów finalnych do sieci dystrybucji, służy do zaplanowania poziomu i miejsca składowania zapasów w całym łańcuchu dostaw. Celem stosowania metody planowania zapotrzebowania dystrybucji jest zredukowanie zapasów w sieci dystrybucji (Nugroho, 2019). Na poziomie punktów sprzedaży, ze względu na ryzyko wystąpienia wahań popytu, tworzy się w każdym z nich zapas zabezpieczający dla każdego towaru, obliczany z formuł klasycznej teorii zarządzania zapasami (Magdalena i Suli, 2019).

Planowanie zapotrzebowania rozpoczyna się na najniższym poziomie (np. w punkcie sprzedaży detalicznej i kończy na poziomie najwyższym np. w magazynie fabrycznym. Potrzeby na niższym szczeblu są danymi wejściowymi kolejnego szczebla. Zapotrzebowanie z najwyższego szczebla może być wykorzystane jako dane wejściowe do pracy nad harmonogramem produkcji (Fertsch, 2006). Popyt z centrów dystrybucyjnych jest wykorzystywany do tworzenia harmonogramu popytu na zapasy i jest przekazywany na produkcję. Po porównaniu z wcześniejszymi prognozami opracowany zostaje plan produkcji, zapotrzebowania materiałowego oraz dystrybucji z rozkładem dostaw do poszczególnych centrów dystrybucji (Ngatilah i in., 2020). Dzięki DRP określa się poziom obsługi dla ogniw łańcucha dostaw mających bezpośredni kontakt z klientem (wielkość partii, dostępność zapasu, terminy dostaw) (Fechner, 2007).

System DRP pozwala oszacować harmonogramy dostaw każdej jednostki składowania zapasu (SKU) do punktów sprzedaży. Wymaga posiadania następujących informacji (Mukhsin i Sobirin, 2022):

- strukturę kanału dystrybucji przez jaką przepływa SKU,
- prognoza popytu na poszczególne SKU na poziomie punktów sprzedaży,



- bieżący poziom zapasu (zapas dysponowany) danego SKU,
- docelowy poziom zapasu zabezpieczającego,
- zalecana wielkość uzupełnienia zapasu,
- czas dostawy uzupełniającej zapas.



Algorytm DRP (Ngatilah i in., 2020):

1. Obliczenie zapotrzebowania netto – Planowanie zapasu podręcznego (dostępnego na stanie). Można go obliczyć, korzystając z poniższego wzoru:

$$\text{Planowany Poziom Zapasu Podręcznego}_{(t)} = (\text{Zapas Dostępny w Magazynie Podręcznym}_{(t-1)} + \text{Zaplanowane Przyjęcie}_{(t)} + \text{Planowane Przyjęcie Zamówienia}_{(t)} - \text{Zapotrzebowanie Brutto}_{(t)})$$

Zapotrzebowanie Netto można obliczyć, korzystając z poniższego wzoru:

$$\text{Zapotrzebowanie Netto}_{(t)} = (\text{Zapotrzebowanie Brutto}_{(t)} + \text{Zapas Bezpieczeństwa}) - (\text{Zaplanowane Przyjęcie}_{(t)} + \text{Planowany Poziom Zapasu Podręcznego}_{(t-1)})$$

2. Partiovanie to proces mający na celu znalezienie wielkości zamówienia lub partii produkcyjnej w każdej sieci dystrybucji. Istnieje kilka metod partiowania. Partiovanie w DRP reprezentowane jest przez planowane przyjęcie zamówienia (PPZ). Planowane Przyjęcie Zamówienia (PPZ) to Zapotrzebowanie Netto, które zostało dostosowane zgodnie z wielkością partii zamówienia lub produkcyjnej.
3. Offsetting to ilość zamówienia, która ma zostać zamówiona w zaplanowanym okresie. Offsetting w DRP reprezentowany przez Planowane Wydanie Zamówienia (PWZ). PWZ to PPZ, który został dostosowany zgodnie z Lead time zamówienia lub produkcji.
4. Eksplozja – całkowity koszt zapasów i dystrybucji można uzyskać, korzystając z poniższego wzoru:

$$\text{Całkowity Koszt zapasów i Dystrybucji} = \text{Koszt zamawiania} + \text{Koszt Utrzymania Zapasu} + \text{Koszt Dostawy}$$



Model DRP jest szczególnie użyteczny w dużych, złożonych organizacjach, gdzie zarządzanie przepływem produktów przez sieć dystrybucyjną jest kluczowe dla efektywności operacyjnej i satysfakcji klienta. Silne strony modelu DRP to:

- usprawnienie koordynacji w łańcuchu dostaw poprzez poprawę przepływu informacji i towarów od producenta do konsumenta, co prowadzi do bardziej efektywnej dystrybucji,
- zwiększona dokładność w prognozowaniu, ponieważ uwzględnia rzeczywiste dane zamówień i poziomy zapasów w całym łańcuchu, co pomaga w optymalizacji poziomów zapasów i zmniejsza koszty,
- lepsza dostępność produktów poprzez zapewnienie, że zapasy są umieszczone tam, gdzie są najbardziej potrzebne, minimalizując tym samym ryzyko niedoborów i przestoje w produkcji.

Słabe strony modelu DRP wiążą się z poniższymi elementami:

- złożoność wdrażania, szczególnie w dużych organizacjach z rozbudowanymi łańcuchami dostaw, co wymaga dokładnego planowania i koordynacji,
- wysokie koszty początkowe związane z zakupem oprogramowania, sprzętu oraz szkoleniem pracowników,
- zależność od dokładności aktualności danych wejściowych, nieścisłości w danych mogą prowadzić do błędów w prognozowaniu i planowaniu, co ostatecznie może powodować nadmierne lub niewystarczające zapasy.

Model DRP, mimo swoich zalet, wymaga precyzyjnego wykonania i bieżącego zarządzania, aby skutecznie wspierać decyzje operacyjne w ramach łańcucha dostaw.

EOQ (Economic Order Quantity) – ekonomiczna wielkość zamówienia to model matematyczny służący do wyznaczenia optymalnej wielkości zamówienia, która minimalizuje całkowite koszty związane z zamówieniami i przechowywaniem zapasów. Metoda ta jest idealna dla produktów o stabilnym i przewidywalnym popycie. W metodzie przyjmuje się następujące założenia (Battani i in., 2015):

- miesięczny lub roczny popyt dla zamawianego produktu jest znany oraz przewidywalny,



- dostawa produktu następuje w bardzo krótkim czasie po jego zamówieniu,
- koszt jednostkowego zamówienia jest stały.

Do obliczeń optymalnej (ekonomicznej) wielkości partii (EOQ) stosuje się wzór Wilsona (Krzyżaniak, 2005; Muckstadt, 2010).



Formuła do obliczenia EOQ:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times P \times K_G}{K_U}}$$

P – przewidywany popyt w dłuższym okresie czasu,

K_G – koszt gromadzenia zapasu – zakupu jednej partii, niezależny od jej wielkości,

K_U – koszt utrzymania w zapasie jednej jednostki danego towaru w przyjętym okresie czasu, określany najczęściej jako pewien ułamek ceny zakupu, a zatem:

$$K_U = \mu_o \times C$$

C – cena zakupu,

μ_o – procentowy udział kosztu utrzymania w cenie zakupu.



Formuła stosowana w Excelu:

$$EOQ = \text{PIERWIASTEK}((2 * [\text{przewidywany popyt}] * [\text{koszt gromadzenia zapasu}]) / [\text{koszt utrzymania zapasu}])$$

Model EOQ jest szczególnie przydatny w przypadku zarządzania zapasami standardowych produktów o stabilnym popycie. Jest to narzędzie analityczne, które pomaga w podejmowaniu decyzji dotyczących wielkości zamówień, ale wymaga dokładnych danych dotyczących kosztów i popytu. Silnymi stronami modelu EOQ są:

- minimalizacja całkowitych kosztów – EOQ pozwala zidentyfikować ilość zamówienia, która optymalizuje równowagę między kosztami zamawiania



a kosztami przechowywania, dążąc do minimalizacji całkowitych kosztów związanych z zapasami,

- zwiększenie efektywności operacyjnej przez ustalenie optymalnego harmonogramu zamówień, model EOQ umożliwia lepsze planowanie i zarządzanie zasobami, co przekłada się na płynniejsze operacje i mniejsze prawdopodobieństwo przerw w produkcji spowodowanych brakami lub nadmiarami zapasów,
- uproszczenie procesu decyzyjnego w zarządzaniu zapasami – EOQ dostarcza jasnych wytycznych dotyczących tego, kiedy i ile zamawiać, co pomaga w standaryzacji procesów zakupowych i może redukować potrzebę ciągłego monitorowania i podejmowania decyzji na temat poziomów zapasów.

Jednak model EOQ wymaga przyjęcia pewnych założeń, co wiąże się z następującymi słabymi stronami:

- potrzeba przyjęcia stałego popytu – model EOQ zakłada, że popyt na produkt jest stały i przewidywalny przez cały czas; w rzeczywistości popyt często jest zmienny i podlega wpływom sezonowości, trendów rynkowych, działań konkurencji i innych czynników zewnętrznych, co może utrudniać dokładne stosowanie modelu EOQ w dynamicznych warunkach rynkowych,
- potrzeba założenia stałych kosztów zamówienia i przechowywania – w praktyce te koszty mogą się zmieniać w zależności od wielu czynników, takich jak zmiany w cenach materiałów, koszty transportu, stawki wynajmu magazynu, zmiany w stawkach pracy czy inflacja,
- brak elastyczności w reagowaniu na zmiany – model EOQ generuje stałą liczbę zamówień na określony okres i nie przewiduje automatycznych dostosowań do szybko zmieniających się warunków rynkowych lub operacyjnych; oznacza to, że należy ręcznie przeglądać i dostosowywać zamówienia EOQ, aby uniknąć nadmiernej akumulacji zapasów lub ryzyka braku zapasów, co może być czasochłonne i skomplikowane.



Ze względu na te ograniczenia, wiele firm stosuje model EOQ jako punkt wyjściowy lub wstępne wytyczne, jednocześnie adaptując swoje strategie zarządzania zapasami, aby uwzględnić dynamikę rynku i specyfikę operacyjną.

3.5. Zastosowanie narzędzia Solver w rozwiązywaniu problemów optymalizacyjnych

Solver to dodatek do programu Microsoft Excel, używany do zaawansowanej analizy i rozwiązywania problemów optymalizacyjnych. Umożliwia on użytkownikom określenie wielu zmiennych decyzyjnych, ograniczeń i celów, a następnie wykorzystuje różne metody matematyczne do znajdowania optymalnych rozwiązań (por. rozdział Wprowadzenie do analizy danych za pomocą arkusza kalkulacyjnego). Jest szczególnie przydatny w sytuacjach wymagających złożonych obliczeń, takich jak planowanie ścieżek logistycznych, alokacja zasobów czy optymalizacja budżetów (Mason, 2013).

Solver wykorzystywany jest do rozwiązywania jednokryterialnych zadań optymalizacyjnych, w których liczba zmiennych decyzyjnych nie przekracza 200. Jego zastosowanie wymaga zapisania modelu matematycznego w obszarze roboczym arkusza kalkulacyjnego. Model optymalizacji składa się z trzech elementów (Baj-Rogowska, 2013; Mason, 2012):

- komórki celu (funkcja celu) – jest to komórka w modelu arkusza, która w wyniku zastosowania Solvera ma przyjąć wartość minimalną, maksymalną lub ustaloną w postaci liczby rzeczywistej,
- komórek zmiennych (zmienne decyzyjne) – są one komórkami zawierającymi poszukiwane wartości, które są zmieniane iteracyjnie i podstawiane przez dodatek Solver do funkcji celu, dopóki nie zostanie znalezione rozwiązanie optymalne,
- komórek ograniczeń (mogą być zastosowane w stosunku do wartości komórki celu i komórek zmienianych) – wprowadzone warunki ograniczające stanowią formułę w komórce arkusza, której wartość musi mieścić się w określonych granicach lub osiągać wartości docelowe.



Solver w Excelu wykorzystuje różne metody optymalizacji, aby znaleźć najlepsze rozwiązania dla zdefiniowanych problemów. Każda z metod ma swoje specyficzne zastosowania i jest wybierana w zależności od charakterystyki problemu optymalizacyjnego. Solver pozwala użytkownikowi wybrać odpowiednią metodę w zależności od natury problemu, który ma być rozwiązany. Główne metody to (Baj-Rogowska, 2013; Delgado-Aguilar i in., 2018):

- metoda Simpleks (Simplex LP) – jest to najczęściej używana metoda do rozwiązywania problemów programowania liniowego (LP); jest skuteczna w sytuacjach, gdzie funkcja celu i wszystkie ograniczenia są liniowe,
- metoda GRG (Generalized Reduced Gradient) – jest zaawansowaną metodą wykorzystywaną do rozwiązywania problemów nieliniowych; jest szczególnie przydatna, gdy funkcja celu lub ograniczenia nie są liniowe, ale nadal są ciągłe i różniczkowalne,
- metoda ewolucyjna (Evolutionary) – jest używana do rozwiązywania problemów optymalizacji globalnej, szczególnie, gdy funkcja celu jest złożona, nieliniowa i nieciągła; metoda ewolucyjna wykorzystuje techniki podobne do algorytmów genetycznych, przeszukując różne możliwe rozwiązania w celu znalezienia najlepszego,
- rozwiązywanie całkowitoliczbowe (Integer Constraints) – Solver może być używany do rozwiązywania problemów, w których niektóre lub wszystkie zmienne decyzyjne muszą przyjmować wartości całkowite; jest to przydatne w sytuacjach, gdzie rozwiązania wymagają dyskretnych wartości, na przykład liczby jednostek do wyprodukowania lub liczby pracowników do zatrudnienia.

Solver w optymalizacji zarządzania w łańcuchu dostaw warto zastosować, gdy istnieje potrzeba optymalizacji złożonych problemów, takich jak minimalizacja kosztów transportu, optymalne planowanie tras dostaw czy zarządzanie zapasami. Jest to szczególnie przydatne w sytuacjach wymagających analizy wielu zmiennych i ograniczeń, gdzie tradycyjne metody mogą być niewystarczające lub zbyt czasochłonne.



3.6. Optymalizacja wykorzystania powierzchni magazynowej – przykład zastosowania narzędzia Solver

Treść zadania

Przedsiębiorstwo dysponuje magazynem o łącznej powierzchni 10 000 m², który musi pomieścić trzy rodzaje produktów: A, B i C. Każdy z tych produktów ma różne wymagania dotyczące powierzchni magazynowej, ma swój określony zapas bezpieczeństwa oraz generuje różne zyski na jednostkę produktu:

- produkt A: wymaga 14 m² na jednostkę, zapas bezpieczeństwa to 40 szt., generuje zysk 30 zł/szt.
- produkt B: wymaga 12 m² na jednostkę, zapas bezpieczeństwa to 60 szt., generuje zysk 32 zł/szt.
- produkt C: wymaga 18 m² na jednostkę, zapas bezpieczeństwa to 90 szt., generuje zysk 23 zł/szt.

Produkty A, B i C trafiają na rynki X, Y i Z. Ogólny popyt na wszystkie produkty na rynkach wynosi:

- rynek X: 220 szt.
- rynek Y: 230 szt.
- rynek X: 332 szt.

Ile jednostek każdego produktu powinno być przechowywane w magazynie, aby zmaksymalizować całkowity zysk z wykorzystanej powierzchni magazynowej, nie przekraczając łącznej dostępnej powierzchni magazynowej przy założeniu, że firma Alfa zaspokaja cały popyt?

Rozwiązanie

Funkcja celu: maksymalizacja całkowitego zysku z produktów.

Ograniczenie: wielkość powierzchni magazynowej, powierzchnia magazynowa dla jednostki produktu, wielkość popytu na rynku.



- [1] przygotowanie arkusza z danymi,
- [2] zdefiniowanie zmiennych decyzyjnych,
- [3] obliczenie zmiennych pomocniczych,
- [4] ustalenie funkcji celu,
- [5] skonfigurowanie Solver,
- [6] wskazanie metody optymalizacji,
- [7] uruchomienie Solver,
- [8] ocena otrzymanego rozwiązania.



Przykład w Excel:

- [1] Przygotuj i uzupełnij tabelę danymi wejściowymi z zadania: zapas bezpieczeństwa dla każdego produktu, jednostkowa powierzchnia magazynowa, zysk jednostkowy, popyt na każdym rynku, całkowita powierzchnia magazynu

		Rynek			Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa	Zysk jednostkowy
		X	Y	Z			
Produkt	A				40	14	30
	B				60	12	32
	C				90	18	23
		220	230	332			

Całkowita powierzchnia magazynu
10000

- [2] Zdefiniuj zmienne decyzyjne – liczba produktów każdego rodzaju w magazynie

		Rynek			Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa	Zysk jednostkowy
		X	Y	Z			
Produkt	A				40	14	30
	B				60	12	32
	C				90	18	23
		220	230	332			

Całkowita powierzchnia magazynu
10000



[3] Oblicz zmienne pomocnicze

- **Liczba jednostek w magazynie:** =SUMA([zakres komórek dla każdego rynku i pojedynczego produktu])
- **Zajęta powierzchnia magazynowa:** =[Jednostkowa powierzchnia Magazynowa]*[Liczba jednostek w magazynie]
- **Zysk dla x jednostek:** =[Liczba jednostek w magazynie]*[Zysk jednostkowy]
- **Zrealizowany popyt:** =SUMA([zakres komórek dla każdego rynku])
- **Suma powierzchni magazynowej:** =SUMA([Zajęta powierzchnia magazynowa])

		Rynek			Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa	Zysk jednostkowy	Liczba jednostek w magazynie	Zajęta powierzchnia magazynowa	Zysk dla x jednostek
		X	Y	Z						
Produkt	A				40	14	30	0	0	0
	B				60	12	32	0	0	0
	C				90	18	23	0	0	0
		220	230	332				Suma powierzchni magazynowej	0	
Zrealizowany popyt		0	0	0						
						Całkowita powierzchnia magazynu				
						10000				

[4] Ustal funkcję celu – maksymalizacja zysku ze sprzedaży produktów

Funkcja celu: =SUMA([Zysk dla x jednostek])

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													

[5] Skonfiguruj Solver

Ustaw cel – komórka z funkcją celu oraz maksymalizacja funkcji celu



Ustaw cel: ↑

Na: ☒ Maks ☐ Min ☐ Wartość:

Wskaż komórki, których wartości mają być ustawione – liczba produktów każdego rodzaju w magazynie

Przez zmienianie komórek zmiennych: ↑

Dodaj ograniczenia:

- zajęta powierzchnia magazynowa = maksymalna powierzchnia magazynowa

Dodawanie ograniczenia ×

Odwołanie do komórki: ↑ = ↑

- zrealizowany popyt na rynku X $\leq$ popytu na rynku X

		Rynek			Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa
		X	Y	Z		
Produkt	A				40	14
	B					
	C					
		220	2			
Zrealizowany popyt		0				

Dodawanie ograniczenia ×

Odwołanie do komórki: ↑ $\leq$ ↑

OK Dodaj Anuluj

- zrealizowany popyt na rynku Y $\leq$ popytu na rynku Y
- zrealizowany popyt na rynku Z $\leq$ popytu na rynku Z
- liczba jednostek produktu A w magazynie $\geq$ zapas bezpieczeństwa dla produktu A



Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa	Zysk jednostkowy	Liczba jednostek w magazynie
40	14	30	0
60	12	32	0

Odwołanie do komórki:	Ograniczenie:
\$J\$4	>= \$G\$4
OK	Dodaj
	Anuluj

- liczba jednostek produktu B w magazynie $\geq$ zapas bezpieczeństwa dla produktu B
- liczba jednostek produktu C w magazynie $\geq$ zapas bezpieczeństwa dla produktu C

[6] Wskaż metodę optymalizacji – np. LP Simplex



[7] Uruchom Solver – naciśnij przycisk Rozwiąż

[8] Oceń otrzymane rozwiązanie

		Rynek			Zapas bezpieczeństwa	Jednostkowa powierzchnia magazynowa	Zysk jednostkowy	Liczba jednostek w magazynie	Zajęta powierzchnia magazynowa	Zysk dla x jednostek
		X	Y	Z						
Produkt	A	0	0	40	40	14	30	40	560	1200
	B	220	140	292	60	12	32	652	7820	20853
	C	0	90	0	90	18	23	90	1620	2070
		220	230	332				Suma powierzchni magazynowej	10000	
Zrealizowany popyt		220	230	332						

Całkowita powierzchnia magazynu	10000
---------------------------------	-------

Funkcja celu - maksymalny zysk:	24123
---------------------------------	-------

Pytania do rozdziału

- W jaki sposób dodatek Solver w programie Microsoft Excel może wspierać procesy decyzyjne w przedsiębiorstwie?
- W jaki sposób wybór odpowiedniej metody optymalizacji wpływa na wyniki przeprowadzonej analizy?



LITERATURA

Antoniuk, I., Svitek, R., Krajčovič, M., i Furmannová, B. (2021). Methodology of design and optimization of internal logistics in the concept of Industry 4.0. *Transportation Research Procedia*, 55, 503-509.

Babaï, M. Z., i Dallery, Y. (2005). Inventory management: forecast based approach vs. standard approach. In *Proceedings of International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, Marrakech, 1-10.

Baj-Rogowska, A. (2013). Planowanie tras z wykorzystaniem narzędzia Solver, jako zadanie logistyczne w małej firmie. *Optymalizacja systemów i procesów logistycznych*, 169-178.

Battini, D., Persona, A., i Sgarbossa, F. (2014). A sustainable EOQ model: Theoretical formulation and applications. *International Journal of Production Economics*, 149, 145-153.

Bomba, I., i Kwiecień, K. (2012). Zastosowanie dodatku SOLVER aplikacji MS Excel w projektowaniu jednostki paletowej. *TTS Technika Transportu Szynowego*, 19.

Cyplik, P., i Hadaś, Ł. (2012). Zarządzanie zapasami w łańcuchu dostaw. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.

Delgado-Aguilar, M., Valverde-Som, L., i Cuadros-Rodríguez, L. (2018). Solver, an Excel application to solve the difficulty in applying different univariate linear regression methods. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 178, 39-46.

Dudziński, Z., i Kizyn, M. (2002). *Vademecum gospodarki magazynowej*. Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr.

Fechner, I. (2007). *Zarządzanie łańcuchem dostaw*. Poznań: Wyższa Szkoła Logistyki.

Fertsch, M. (red.) (2006). *Słownik terminologii logistycznej*. Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.

Ghani, G. (2004). *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Gu, J., Goetschalckx, M., i McGinnis, L.F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European journal of operational research*, 177(1), 1-21.



- Gupta, P., Mehlawat, M. K., Aggarwal, U., i Khan, A. Z. (2022). An optimization model for a sustainable and socially beneficial four-stage supply chain. *Information Sciences*, 594, 371-399.
- Hariga, M.A., i Jackson, P.L. (1996). The warehouse scheduling problem: Formulation and algorithms. *IIE Transactions* 28, 115–127.
- Jayarathna, C. P., Agdas, D., Dawes, L., i Yigitcanlar, T. (2021). Multi-objective optimization for sustainable supply chain and logistics: A review. *Sustainability*, 13(24), 13617.
- Kauf, S., i Tłuczak, A. (2016). *Optymalizacja decyzji logistycznych*. Difin.
- Kisielewski, P., i Talarek, P. (2020). *Optymalizacja procesu magazynowania wysokoskładowego*. (red.) Sosnowski Z. *Symulacje komputerowe w badaniach i rozwoju*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej. Białystok. DOI: 10.24427/978-83-66391-28-4_11
- Konarzewska, I., Jewczak, M., i Kucharski, A. (2020). *Optymalizacja w logistyce, tom 1. Modelowanie logistycznych procesów decyzyjnych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Krzyżaniak, S. (2005). *Podstawy zarządzania zapasami w przykładach (Wydanie III)*. Poznań: Instytut Logistyki i Magazynowania.
- Krzyżaniak, S. (2006). Lokalizacja zapasów w sieci dystrybucji. *LogForum*, 2(1), 2.
- Kusiak, J., Danielewska-Tulecka, A., i Oprocha, P. (2021). *Optymalizacja. Wybrane metody z przykładami zastosowań*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Magdalena, R., i Suli, T. (2019). Forecasting Methods and Implementation of DRP (Distribution Requirement Planning) Methods in Determining the Master Production Schedule. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 528, No. 1, p. 012049)*. IOP Publishing.
- Masclé, C., i Gosse, J. (2014). Inventory management maximization based on sales forecast: case study. *Production Planning & Control*, 25(12), 1039-1057.
- Mason, A. J. (2012). OpenSolver-an open source add-in to solve linear and integer programmes in Excel. In *Operations Research Proceedings 2011: Selected Papers of the International Conference on Operations Research (OR 2011), August 30-September 2, 2011, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, Zurich, Switzerland*, 401-406.



- Mason, A. J. (2013). SolverStudio: A new tool for better optimisation and simulation modelling in Excel. *INFORMS Transactions on Education*, 14(1), 45-52.
- Miszewski, P. (2019). Rola nowoczesnych rozwiązań technologicznych w optymalizacji pracy współczesnego magazynu. *Journal of TransLogistics*, 5(1), 175-182.
- Muckstadt, J. A., Sapra, A., Muckstadt, J. A., i Sapra, A. (2010). EOQ model. *Principles of Inventory Management: When You Are down to Four, Order More*, 17-45.
- Mukhsin, M., i Sobirin, M. T. (2022). Scheduling Process Analysis Distribution of Product Using the Distribution Requirement Planning (DRP) Method. *AFEBI Management and Business Review*, 7(2), 78-89.
- Muller, M. (2019). *Essentials of inventory management*. HarperCollins Leadership.
- Ngatilah, Y., Rahmawati, N., Pujiastuti, C., Porwati, I., i Hutagalung, A. Y. (2020). Inventory control system using distribution requirement planning (drp)(case study: Food company). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1569, No. 3). IOP Publishing.
- Nugroho, M., Ellianto, M. S. D., i Nurcahyo, Y. E. (2019). Planning and Implementation Enterprise Resource Planning Module Distribution Management Using the Methods of Distribution Requirement Planning in MSMEs UD Adhi Teknik. *International Review of Management and Marketing*, 9(6), 179.
- Ramaa, A., Subramanya, K. N., i Rangaswamy, T. M. (2012). Impact of warehouse management system in a supply chain. *International Journal of Computer Applications*, 54(1).
- Reszka, L. (2012). Koniunkcja logistyki i optymalizacji. *Acta Universitatis Nicolai Copernici. Zarządzanie*, 39, 109-118.
- Silva, C. A., Sousa, J. M. C., Runkler, T., i Palm, R. (2005). Soft computing optimization methods applied to logistic processes. *International Journal of Approximate Reasoning*, 40(3), 280-301.
- Smyk, S. (2023). Optymalizacja jako wyzwanie dla menedżerów ds. logistyki. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*.
- Tylicki, H. F., i Bartol, M. (2017). Wybrane problemy optymalizacji procesów logistycznych przedsiębiorstwa. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 18(12).